Lane Medical Library
193
STANFORD UNIVERSITY
AUG
23
1938
LIBRARY

Aus der Fliegeruntersuchungsstelle Bad-Nauheim

Das Verhalten des Atem-Minutenvolumens während des Auf- und Abstieges in der Unterdruck-Kammer

Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der medizinischen Fakultät
der Hessischen Ludwigs-Universität
zu Gießen

vorgelegt von
Helmut Klingelhöfer
approbierter Arzt
aus Nieder-Wöllstadt

Gießen 1938

Druck: von Münchowsche Universitäts-Druckerei Otto Kindt GmbH in Gießen

Gedruckt mit Genehmigung der medizinischen Fakultät zu Gießen
Dekan: Prof. Dr. Seiser
Referent: Prof. Dr. Eb. Koch
Tag der Genehmigung durch den Prüfungs-Ausschuß: 21. 12. 37

Einleitung.

Bei den zur Beurteilung der Höhentauglichkeit angestellten Versuchen in der Unterdruck-Kammer pflegen das psychische Verhalten der Versuchspersonen und die meßbaren Kreislaufgrößen, wie Pulszahl und Blutdruck, allgemein berücksichtigt zu werden. Ein Grund hierfür ist wohl darin zu sehen, daß die Atmungsfrequenz bei Aufstiegen bis zu etwa 6000 m Nennhöhe sich nicht wesentlich ändert. Dagegen ist bekannt, daß das Atemminutenvolumen in der Norm mit zunehmender Höhe ansteigt. Es scheint sogar so zu sein, daß der Organismus den Einfluß des Sauerstoffmangels gewöhnlich nicht durch Zunahme des Kreislaufminutenvolumens auszugleichen bestrebt ist, sondern vielmehr durch Steigerung des Atemminutenvolumens.

Es liegen im Schrifttum zwar zahlreiche Arbeiten experimenteller Art über das Verhalten der Atmung bei Unterdruck-Kammer-Versuchen vor, es fehlt jedoch bis jetzt eine Zusammenstellung der verschiedenen Arten der Atemreaktion, wie sie bei den üblichen Höhentauglichkeitsprüfungen einer Fliegeruntersuchungsstelle vorkommen.

Es wurden deshalb an 22 jungen Menschen im Alter von 18 bis 26 Jahren ohne Auswahl bei den Unterdruck-Kammer-Versuchen die Atemminutenvolumina beobachtet. Alle Versuchspersonen waren nach der klinischen Untersuchung militärdiensttauglich.

Versuchs-Anordnung.

Die Versuchsperson saß während der Durchführung des Versuches bequem in einem mit Rücken- und Armlehne versehenen Stuhl. Mit Hilfe von zwei Ventilen wurde die Exspirationsluft durch eine trockene Gasuhr gemessen, die Inspirationsluft direkt aus der Unterdruck-Kammer eingeatmet. Nachdem die Versuchsperson auf den Zweck der Untersuchung aufmerksam gemacht worden war und sich mit der Umgebung vertraut gemacht hatte, wurde das Mundstück eingeführt und die Nasenklemme aufgesetzt. Da beobachtet werden konnte, daß das mit der Tätigkeit der Saugpumpe verbundene Geräusch die Versuchspersonen psychisch nicht unbeeinflußt ließ, wurde die Pumpe sofort zu Beginn des Versuches in Tätigkeit gesetzt, während die Tür der Unterdruck-Kammer vorerst geöffnet blieb. Es war überhaupt von vornherein zu erwarten, daß bei den hier durchgeführten Versuchen die Einführung des Mundstücks, das Aufsetzen der Nasenklemme, der Anblick der Apparatur, kurz die gesamte Methodik, die Versuchspersonen, wenn auch in verschiedenem Maße, aus der psychischen Gleichgewichtslage herausbrachten. Da diese Tatsache charakteristische Besonderheiten im Atmungsverlauf zur Folge hat, wurde auf den psychischen Zustand zu Beginn des Versuches besonderer Wert gelegt.

Da, wie oben erwähnt, die Exspirationsvolumina bestimmt wurden, und die Temperatur von der durchschnittlichen Zimmertemperatur nicht abwich, wurde auf eine Korrektur nach A. I. Anthony (Beiträge zur Klinik der Tuberkulose und spezifischen Tuberkulose-Forschung, 87. Band 8. Heft) verzichtet. Es werden in Zahlen und Kurven die tatsächlich abgelesenen Werte angegeben.

Versuchsgang:

Jeder Versuch ist in zwei Phasen eingeteilt:

1. Ausgangszustand, d. h. Verhalten vor Beginn des Aufstieges, nachdem alle zum Versuch notwendigen Bedingungen bereits erfüllt sind.
2. Verhalten während des Versuches.

Der Versuch wickelte sich in durchschnittlich 80 Minuten ab. Der Vorversuch, der dazu diente, die Ausgangsgröße der Atmung zu bestimmen, nahm etwa 10 Minuten in Anspruch. Sodann wurde mit dem Aufstieg begonnen, der bis zu einer Nennhöhe von 6000 m durchgeführt wurde. Die Zeit, die bis zur Erreichung der höchsten Nennhöhe verging, betrug durchschnittlich 22 bis 28 Minuten. Dann wurde 10 Minuten auf dieser Höhe verweilt. Die Zeitdauer des Abstieges belief sich auf 12 bis 22 Minuten; nach beendetem Abstieg wurden die Atemminutenvolumenwerte noch 10 bis 15 Minuten lang abgelesen. In jeder Minute wurde die Größe des Exspirationsvolumens festgestellt. Puls- und Atmungsfrequenz wurden alle zwei Minuten bestimmt.

I. Ausgangszustand.

Er ist am besten aus der Tabelle 1 zu erkennen, die die Nummern der Versuchspersonen, Körpergewicht und Körpergröße, das Atmungsminutenvolumen im Durchschnitt vor beginnendem Aufstieg, dieses berechnet pro kg Körpergewicht, und die Vitalkapazität enthält. Die Vitalkapazität scheint keinerlei Einfluß auf das Verhalten der Atemminutenvolumina in großen Höhen zu haben.

Die zu Beginn gemessenen durchschnittlichen Atemminutenvolumenwerte der einzelnen Versuchspersonen sind, wie aus der Tabelle 1 hervorgeht, etwa proportional dem auf das kg Körpergewicht berechneten Durchschnittsvolumen. Es werden daher in folgendem nur die absoluten Atemminutenvolumina berücksichtigt.

Bereits auf Grund der Tabelle 1 lassen sich die Versuche je nach der Größe des Ausgangsminutenvolumens in drei Gruppen einteilen:

1. Auffallend ruhige und psychisch ausgeglichene Versuchspersonen. Der durchschnittliche Ausgangsminutenvolumenwert beträgt 4,8. Zu dieser Gruppe gehören die Versuchspersonen 1 und 2.
2. Die Versuchspersonen 3 bis 17 haben ein durchschnittliches Ausgangsminutenvolumen, das zwischen 6,2 und 9,5 schwankt.

Tabelle I.

Nr. der Vp.	Körper- Größe	Gewicht	Anfangs-minuten-volumen im Durchschnitt	Anf. Min. Volumen im Durchschnitt pro kg Körpergew.	Vital-kapazität in ccm
1	174	57	3,8	0,07	3800
2	181	75	5,7	0,08	4500
3	176	72	6,2	0,09	4800
4	167	73	6,5	0,09	4000
5	174	74	6,9	0,09	5500
6	175	66	6,9	0,10	6200
7	165	61	7,0	0,11	4000
8	171	58	7,0	0,12	4500
9	167	53	7,5	0,14	3500
10	184	70	7,5	0,11	6000
11	173	70	8,1	0,12	4500
12	184	77	8,5	0,11	4800
13	184	77	8,5	0,11	4800
14	165	67	9,0	0,13	5100
15	172	70	9,0	0,13	4700
16	177	71	9,5	0,14	5500
17	177	71	9,5	0,13	5500
18	176	72	12,0	0,17	4800
19	183	73	12,5	0,17	5500
20	174	79	13,0	0,16	5400
21	181	71	14,5	0,20	4500
22	172	75	14,5	0,19	5100

Eine weitere Unterteilung und nähere Charakterisierung dieser Gruppe wird sich erst später im Versuchsverlauf ergeben.

3. Dagegen fällt bereits jetzt Versuchsperson 18 bis 22 heraus mit einem ungewöhnlich hohen Ausgangsminutenvolumen von 12 bis 14,5.

II. Verhalten während des Versuches.

Gruppe I.

Bezeichnend für diese Gruppe ist, daß das Atemminutenvolumen während des Aufstieges in zunehmendem Maße ansteigt, (Abb. 1) und zwar im Durchschnitt von 4,8 auf 6,2 das ist um 20,8 % des Ausgangswertes.
Gleichzeitig nahm die Pulsfrequenz deutlich zu (vgl. Abb. 1). Weiter ist bezeichnend für diese Gruppe, daß auch bei dem Aufenthalt in der Höhe noch eine weitere Zunahme des Atemminutenvolumens eintritt. Die Durchschnittszunahme des Atemminutenvolumens von 4,8 auf 8,2 macht **70,7 % des Ausgangswertes aus.**
Auch noch während des Abstieges hielt sich das Atemminutenvolumen auf der erreichten Höhe und sank erst einige Minuten nach Erreichung des normalen Barometerdruckes wieder ziemlich rasch ab, ohne aber den niedrigen Ausgangswert wieder ganz zu erreichen.

Gruppe III.

Den äußersten Gegensatz zur Gruppe I stellt die Gruppe der Versuchspersonen dar, die im Ausgangszustand die extrem hohen Werte des Atemminutenvolumens hatte. (Abb. 2)

In diesen Fällen nimmt das Atemminutenvolumen während des ganzen Versuches ab.

Die Abnahme ist nicht bei allen Versuchspersonen dieser Gruppe so kontinuierlich, wie sie Abb. 2 zeigt; es kommt auch vor, daß die Abnahme während des Aufsteigens und des Aufenthalts in der höchsten Höhe nur gering ist, dann aber beim Abstieg sehr deutlich wird.

Die nach Beendigung des Versuches bei diesen Versuchspersonen abgelesenen Atemminutenwerte entsprechen etwa der oberen Grenze der Norm.

Gruppe II.

Unter den Versuchspersonen mit mittleren Werten des Ausgangs-Atemminutenvolumens lassen sich nach dem Verhalten während des Versuches 3 Untergruppen unterscheiden.

Untergruppe A.

Der von vornherein nur wenig erhöhte Ausgangswert steigt beim Aufstieg schon deutlich an und nimmt auch während des Aufenthalts auf der Höhe noch weiter zu. Die durchschnittliche Zunahme bei 3 Versuchen von 7,3 auf 10 macht bis zum überhaupt erreichten höchsten Wert eine **Steigerung um 37%** aus.
Dann aber beginnt gleich zu Anfang des Aufstieges das Atemminutenvolumen wieder rasch abzunehmen und sinkt nach dem Versuch auf einen Wert ab, der zwar deutlich, aber nicht beträchtlich unter dem Ausgangswert liegt (Abb. 3a).

Untergruppe B.

Das für diese Gruppe Bezeichnende besteht darin, daß der Ausgangswert etwas höher liegt als der der Untergruppe A, und daß bei beginnendem Aufstieg die Werte zunächst abnehmen. In großer Höhe aber, etwa von 4000 bis 5000 m Nennhöhe an, nimmt das Atemminutenvolumen auch hier zu und kann beim Aufenthalt in der höchsten Höhe sogar ziemlich große Werte erreichen.

Die durchschnittliche Zunahme des Maximalwertes gegenüber dem Ausgangswert macht hier bei 4 Versuchen **35,5%** aus.

Weiterhin ist dann typisch für diese Untergruppe, daß das Atemminutenvolumen während des Abstieges ziemlich steil abfällt auf einen Wert, der sehr deutlich unterhalb des Ausgangswertes liegt. Nach beendetem Versuch aber steigt das Atemminutenvolumen bei den Versuchspersonen dieser Untergruppe wieder regelmäßig an, fast bis auf den Ausgangswert.

Die Kurve des Atemminutenvolumens zeigt also hier zwei deutliche Täler, das erste bei Beginn des Aufsteigens, das zweite während des Abstieges (Abb. 3b).

Untergruppe C.

Als dritte Untergruppe sind dann die Versuchspersonen herauszustellen, die auf der Höhe einen Kreislaufkollaps zeigten.

Typisch hierfür war, daß der Ausgangs-Atemminutenvolumenswert schon verhältnismäßig hoch war und während des Aufstieges so gut wie gar nicht zunahm. Erst nach dem Eintreten des Kreislaufkollapses kam es zu einem ganz plötzlichen Ansteigen des Atemminutenvolumens. Wenn sich dann aber während des Abstieges die Versuchsperson erholte, sank das Atemminutenvolumen steil auf ziemlich tiefe Werte ab, um nach beendetem Versuch wieder anzusteigen (Abb. 3c).

Diese Einteilung des Atmungsverhaltens in verschiedene Gruppen ist zwar rein symptomatisch gewonnen und mag auf den ersten Blick zu schematisch erscheinen, es ist aber fast immer ohne Schwierigkeit möglich, den einzelnen Versuch in diese oder jene Gruppe einzuteilen. Schwierigkeiten ergeben sich eigentlich nur, wenn die Versuchsperson derart unregelmäßig atmet, daß man überhaupt nicht von einem kontinuierlichen Verlauf der Minutenvolumenkurve reden kann.

Besprechung der Versuchsergebnisse.

Die Befunde haben ergeben, daß im Gegensatz zur Beobachtung der Atmungsfrequenz das Verhalten der Atemminutenvolumina sehr charakteristische Unterschiede zwischen den einzelnen Versuchspersonen aufdeckt.

Auf Grund der geringen Zahl der Versuche wäre es verfrüht, aus den Beobachtungen Rückschlüsse auf die Höhentauglichkeit zu ziehen.

Auch eine theoretische Auseinandersetzung mit den zahlreichen experimentellen Befunden über das Verhalten der Atmung bei

Sauerstoffmangel läßt sich auf Grund der eigenen Ergebnisse nicht durchführen, da nur das Minutenvolumen der Atmung registriert wurde. Das Maßgebende bei der Atmung im Unterdruck ist aber der alveolare Sauerstoffteildruck. Solange dieser aber nicht bekannt ist, können die verschiedenen Atemreaktionen nur symptomatisch bewertet werden.

Zum Schluß aber soll noch kurz auf die Beziehungen zur Pulsfrequenz eingegangen werden (vgl. die Abbildungen).

Bei der ersten Gruppe (Abb. 1) ist das Ausmaß, um das die Pulsfrequenz bei Aufstieg und Aufenthalt in der Höhe zunimmt, besonders groß. Die Abstiegkurve der Pulsfrequenz ist etwa symmetrisch der Aufstiegkurve. Beides spricht nach den bisherigen Erfahrungen für eine gute Kreislaufreaktion. Bei der dritten Gruppe dagegen (Abb. 2) steigt die Pulsfrequenz beim Aufstieg und beim Aufenthalt auf der Höhe nur sehr wenig an und liegt nach dem Abstieg unter dem Ausgangswert.

Dieses Verhalten spricht für eine psychische Aufregung zu Beginn des Versuches.

Bei der Gruppe IIA (Abb. 3a) ist das Ausmaß, um das die Pulsfrequenz während des Versuches zunimmt, geringer als bei Gruppe I, und bei Gruppe IIB (Abb. 3b) noch geringer als bei Gruppe IIA.

Typisch ist dann für den Kollaps (Gruppe IIC und Abb. 3c), daß die Pulsfrequenz nur ganz wenig oder überhaupt nicht ansteigt und dann plötzlich infolge zentraler Vagusreizung zu Beginn des Kollapses absinkt.

Zusammenfassung.

An 22 gesunden Versuchspersonen werden die Änderungen des Atemminutenvolumens während eines Aufstieges in der Unterdruck-Kammer bis auf 6000 m Nennhöhe und während des Abstieges untersucht. Es lassen sich typische Reaktionsformen aufstellen, die in den Abbildungen wiedergegeben sind. Die Versuche regen dazu an, auch die Veränderung des Atemminutenvolumens bei der praktischen Höhentauglichkeitsprüfung der Flieger mit zu berücksichtigen.

Herrn Professor Dr. Eb. Koch, Bad-Nauheim, bin ich für die Anregung, die er mir zu dieser Arbeit gegeben hat, zu großem Dank verpflichtet.

Verhalten des At. Min. Vol. während des Auf- und Abstieges in der Unterdruck-Kammer in Kurvendarstellung.

Erklärung

——— = At. Min. Vol. in Ltr. 1/3 cm = 1 Ltr.

– – – = Pulsfrequenz 1/3 cm = 10 Pulsschläge

..... = Angabe der Höhe 1 cm = 1000 m

Die Abszisse gibt die Zeit an. 1 cm = 10 Minuten

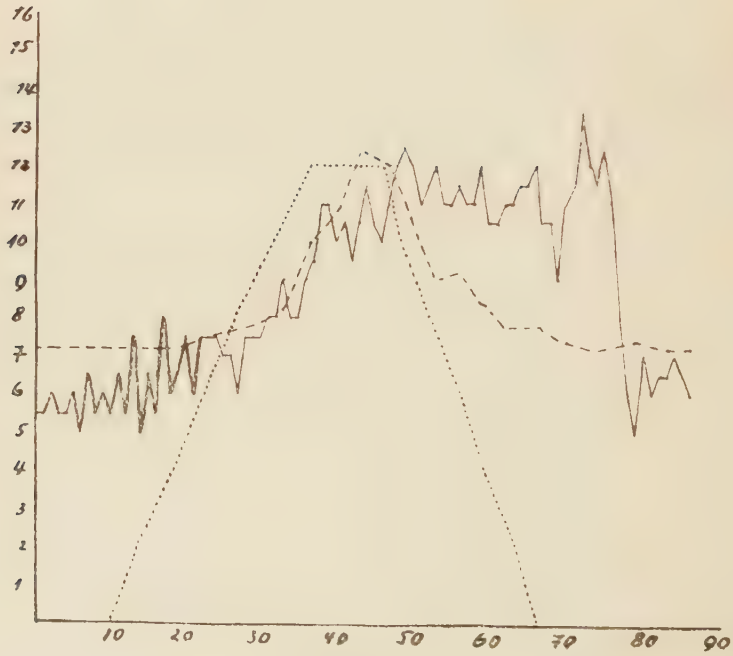

Abbildung 1

Abbildung 2

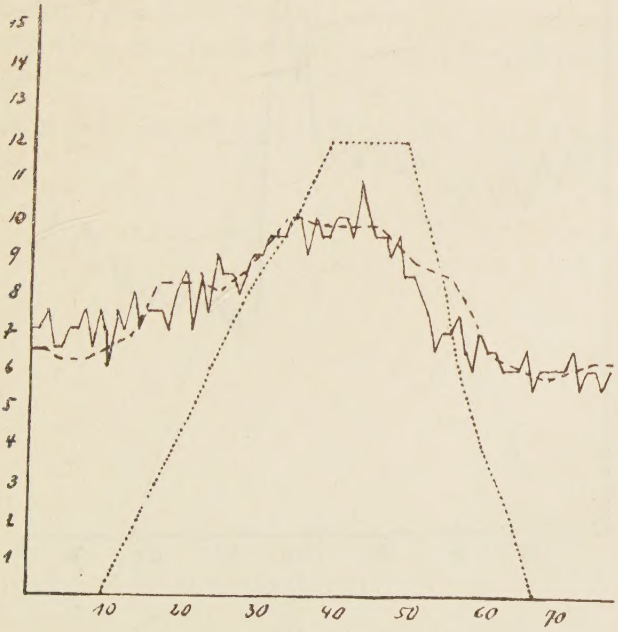

Abbildung 3a

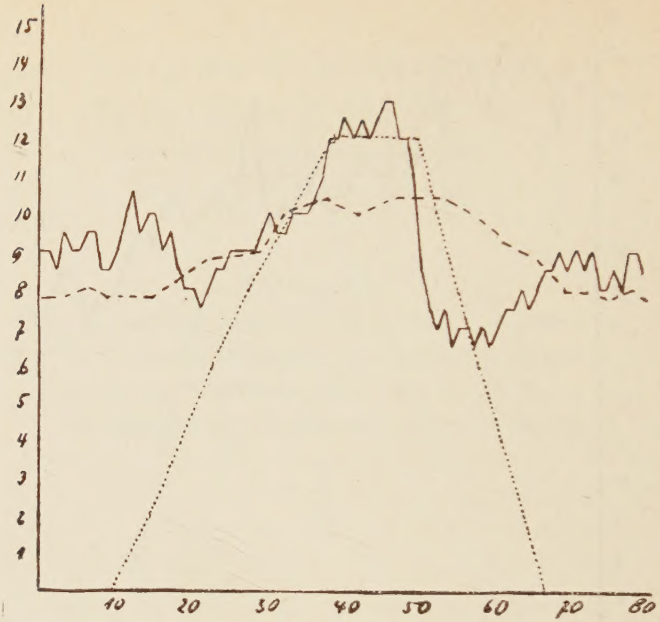

Abbildung 3b

Abbildung 3c

Lebenslauf.

Am 27. Mai 1908 wurde ich, Helmut Klingelhöfer, als ältester Sohn des Lehrers Ludwig Klingelhöfer und seiner Ehefrau Marie, geb. Pflug, zu Nieder-Wöllstadt in Hessen geboren. Nach dreijährigem Besuch der Volksschule in Friedberg trat ich in das dortige Gymnasium ein, an dem ich im Frühjahr 1927 die Reifeprüfung bestand. Während der vorklinischen Semester studierte ich in Gießen Medizin. Daselbst legte ich am 1. August 1930 die ärztliche Vorprüfung ab. Die klinischen Semester verbrachte ich an der Universität Frankfurt am Main, woselbst ich am 30. Dezember 1933 die ärztliche Staatsprüfung bestand.

Nach erteilter Approbation war ich als Assistenzarzt am Konitzkystift zu Bad-Nauheim, an den Krankenanstalten der L. V. A. Berlin, Beelitz-Heilstätten (Mark), und an der Privatklinik Mackenrodt, Berlin, tätig. Seit Januar 1937 vertrete ich praktische Ärzte in der Praxis.

Friedberg i. H., den 22. Juni 1937. Helmut Klingelhöfer.